

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
13. Mai 2004 (13.05.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2004/040487 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: G06F 17/60

HEIX, Andreas [DE/DE]; Friedensstrasse 98, 69121  
Heidelberg (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/010510

(74) Anwälte: KOLB, Georg usw.; DaimlerChrysler AG,  
Intellectual Property Management, IPM - C106, 70546  
Stuttgart (DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:  
20. September 2003 (20.09.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(81) Bestimmungsstaat (*national*): US.

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT,  
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,  
HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

(30) Angaben zur Priorität:  
102 50 313.3 29. Oktober 2002 (29.10.2002) DE

Veröffentlicht:

— mit einer Erklärung gemäss Artikel 17 Absatz 2 Buchstabe  
a; ohne Zusammenfassung; Bezeichnung von der Interna-  
tionalen Recherchenbehörde nicht überprüft

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): DAIMLERCHRYSLER AG [DE/DE]; Epplestrasse  
225, 70567 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): DAFERNER, Martin  
[DE/DE]; Brahmsstrasse 2, 71065 Sindelfingen (DE).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Ab-  
kürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Co-  
des and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der  
PCT-Gazette verwiesen.



WO 2004/040487 A2

(54) Title: METHOD FOR DETERMINATION OF A LEAD TIME

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG EINER VORLAUFZEIT

(57) Abstract:

(57) Zusammenfassung:

Verfahren zur Bestimmung einer Vorlaufzeit

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur automatischen Bestimmung einer Korrektur-Zeitspanne zur Korrektur einer Ist-Vorlaufzeit für die Lieferung eines Vorprodukts, das von einem Lieferglied eines Fertigungsnetzwerks hergestellt wird.

Ein komplexes Endprodukt, z. B. ein Kraftfahrzeug, wird heute meist in einem umfangreichen Fertigungsnetzwerk von miteinander verbundenen Liefergliedern gefertigt. Beispielsweise liefern zwei Lieferglieder A und B zwei Vorprodukte V\_A und V\_B an ein nachfolgendes Lieferglied, das ein Zwischenprodukt erzeugt und dafür die Vorprodukte V\_A und V\_B verwendet. Das Zwischenprodukt wird an ein weiteres nachfolgendes Lieferglied oder an einen Endabnehmer im Fertigungsnetzwerk, z. B. einen Hersteller von Kraftfahrzeugen, geliefert.

Das Vorprodukt, dessen Vorlaufzeit bestimmt werden soll, wird von einem bestimmten Lieferglied des Fertigungsnetzwerkes hergestellt. Bestand und Bedarf des Vorprodukts werden durch Vielfache einer vorgegebenen Basismenge gemessen. Die Basismenge ist beispielsweise ein Stück des Vorproduktes. Mit dem Begriff „Vorlaufzeit“ („lead time“) für ein bestimmtes Vorprodukt wird die Zeitspanne bezeichnet, die zwischen der Fertigstellung einer bestimmten Menge des Vorprodukts durch ein Lieferglied und der Verwendung dieser Menge bei einem Endab-

nehmer des Fertigungsnetzwerkes verstreicht. Der Endabnehmer verwendet die Menge beispielsweise dadurch, daß er Zwischenprodukte, die nachfolgende Lieferglieder unter Verwendung des Vorprodukts herstellen, in sein Endprodukt einbaut.

Die Kenntnis der richtigen Vorlaufzeit für das Vorprodukt ist sowohl für den Hersteller des Vorprodukts als auch für den Endabnehmer ein kritischer Faktor - insbesondere dann, wenn der Bedarf des Endabnehmers über der Zeit schwankt. Ein schwankender Bedarf wird beispielsweise durch eine zeitlich variable Nachfrage nach dem Endprodukt oder durch eine kundenindividuelle Fertigung des Endproduktes, bei dem das Vorprodukt nur in einigen Varianten des Endproduktes verwendet wird und das Endprodukt erst nach Vorliegen eines Kundenauftrags gefertigt wird, verursacht. Wird von einer zu großen oder zu kleinen Vorlaufzeit ausgegangen, so reagiert das Lieferglied, welches das Vorprodukt herstellt, zu früh bzw. zu spät auf Bedarfsänderungen für das Vorprodukt. Dann können Lieferengpässe auftreten, in deren Folge der Endabnehmer Nachfragen von Kunden nicht rechtzeitig befriedigen kann. Oder Lagerbestände bei einem Lieferglied oder beim Endabnehmer werden größer als erforderlich, was z. B. erhöhte Kosten für Lagerhaltung und für gebundenes Kapital und das Risiko von Schäden am zwischengelagerten Vorprodukt zur Folge hat. Im Extremfall kann ein nachfolgendes Lieferglied oder der Endabnehmer überzählige Vorprodukte im Lager überhaupt nicht mehr verwenden, z. B. weil die Produktion des Endprodukts beendet wird.

Von Liefergliedern wird erwartet, daß sie auf Bedarfsänderungen flexibel reagieren können und ihre Produktion je nach Bedarf steigern oder reduzieren können. Daher wird ein Verfahren gewünscht, um die Vorlaufzeit zu bestimmen, wobei die Zeitspanne zwischen Fertigstellung durch das Lieferglied und Verwendung durch den Endabnehmer unabhängig von der fertiggestellten Menge des Vorproduktes sein soll.

Ein klassisches Vorgehen besteht darin, die „lokalen Vorlaufzeiten“ zwischen jeweils einem Lieferglied und einem unmittel-

telbar nachfolgenden Lieferglied zu addieren und so eine Vorlaufzeit für die Zeitspanne zwischen der Fertigstellung bei einem Lieferglied und der Verwendung beim Endabnehmer zu bestimmen. Aus H. L. Lee, V. Padmanabhan, S. Whang: „Der Peitscheneffekt in der Absatzkette“, Harvard Business Manager Nr. 4 (1997), ist ein als „Peitscheneffekt“ („bullwhip effect“) bezeichneter Nachteil dieses Vorgehens bekannt: Die Varianz der Bestellmengen und damit der „lokalen Vorlaufzeiten“ nimmt mit zunehmender Entfernung im Fertigungsnetzwerk zwischen Lieferglied und Endabnehmer zu. Für die gesamte Vorlaufzeit zwischen Lieferglied und Endabnehmer kann lediglich ein großes Intervall angegeben werden. Die Gefahr ist groß, daß zu viele oder zu wenige Exemplare des Vorprodukts geliefert werden, was die oben beschriebenen Nachteile hat und überdies zu erhöhten Lagerbeständen und nicht benötigten Kapazitätsreserven führt.

In US 5,231,567 wird ein Produktionsplanungssystem offenbart, das u. a. die Vorlaufzeit („lead time“) aus einer Fertigungskapazität („production capacity“) und einem zeitlich veränderlichen Bedarf („work demand“) bestimmt. Im wesentlichen erzeugt das System einen Produktionsplan mit zeitlichen Aussagen. Hierzu wird eine Vorrichtung zur Schätzung der Vorlaufzeit („lead time estimate module“) verwendet, das nach einem Ausführungsbefehl („lead time estimate command“) eine Vorlaufzeit aus Daten über Fertigungskapazität und Bedarf bestimmt. In einer Ausführungsform wird die Vorlaufzeit in Abhängigkeit von veränderter Fertigungskapazität mittels Justierungsdaten („capacity adjustment data“) verändert. Im einzigen Ausführungsbeispiel, die beschreibt, wie die Vorlaufzeit bestimmt wird, wird ein neuronales Netz angewendet, das als Eingangsgrößen Kapazität und Bedarf und als Ausgangsgröße die Vorlaufzeit hat. Verwiesen wird auf ein Lehrbuch über die Theorie der neuronalen Netze.

Bekanntlich wird ein neuronales Netz mit Stichproben trainiert, die in diesem Falle aus zuvor ermittelten Wertepaaren für Kapazität, Bedarf und Vorlaufzeit bestehen. Zur Bestim-

mung der Vorlaufzeit bei gegebenen Werten für Kapazität und Bedarf „generalisiert“ ein neuronales Netz über die Stichproben. Damit werden Vorlaufzeiten aus der Vergangenheit in die Zukunft fortgeschrieben, auch dann, wenn diese sich als nicht optimal erwiesen haben. Die Druckschrift weist keinen Weg auf, wie Verbesserungen im Fertigungssystem, die z. B. zu einem besseren, störungsärmeren Materialfluß führen, berücksichtigt werden. Eine weitere Begrenzung ist, daß die Schätzung der Vorlaufzeit die Kenntnis der jeweiligen Fertigungskapazität erfordert.

In US 5,819,232 wird ein Verfahren zur Regelung eines Lagerbestands offenbart. Der Bedarf des Kunden wird vorhergesagt, dabei werden mögliche Bedarfsschwankungen berücksichtigt. Für den Lagerbestand werden eine obere und eine untere Schranke bestimmt. Der Produktionsplan wird so bestimmt, daß der tatsächliche Lagerbestand zwischen oberer und unterer Schranke liegt. Hierbei wird die Vorlaufzeit für einen Kundenauftrag („customer order lead time“) berücksichtigt, sie muß zureichend genau bekannt sein. Nicht offenbart wird, wie diese Vorlaufzeit ermittelt wird. Um das Verfahren nach US 5,819,232 ausführen zu können, muß es möglich sein, die Vorlaufzeit als statistische Zufallsgröße auszudrücken. Ähnlich wie bei US 5,231,567 werden auch für die Bestimmung der Parameter der Zufallsgröße Stichproben benötigt, und Vorlaufzeiten werden aus der Vergangenheit in die Zukunft fortgeschrieben.

Aus JP 11175636 ist ein Simulationssystem für Planung des Warenversandes bekannt. Um eine Vorlaufzeit („production lead time“) zu bestimmen, wird eine Verarbeitungszeit für jeden einzelnen Prozeß („waiting time“) benötigt.

Aus JP 00172768 ist eine Vorrichtung bekannt, um den Sicherheitsbestand eines Lagers zu ermitteln. Eine Obergrenze für die Vorlaufzeit wird bestimmt, die eingehalten werden muß, damit der Lagerbestand einen vorgegebenen Sollbestand nicht unterschreitet. Daraus werden eine maximale und eine durchschnittliche Versandmenge („shipping volume“) abgeleitet.

In JP 08096037 ist eine Vorrichtung zur Bestimmung eines Zeitplans („calendar calculation device“) offenbart. Eine zusammengesetzte Vorrichtung zur Konstruktion eines Zeitplans („calendar table“) mit Zugriff auf zwei Zeitpläne für Kalendertage und für Datumsangaben von Arbeitsschritten erzeugt einen zusammengesetzten Zeitplan. Eine Berechnungseinheit greift auf diesen Zeitplan und auf einen Datenspeicher mit Randbedingungen zu und erzeugt ein Berechnungsergebnis, z. B. eine Vorlaufzeit („lead time“). Nicht offenbart wird, wie diese Berechnung durchgeführt wird.

In JP 08287149 wird eine Methode zur Produktionsplanung offenbart. Aufgabe ist, den Zeitverzug zwischen zwei aufeinanderfolgenden Liefergliedern zu bestimmen. Anlieferungstermine beim Endabnehmer und daraus abgeleitete Termine zur Fertigstellung von Vorprodukten („passing reference days“) werden mittels Meßdaten aus dem Datum der Anlieferung bestimmt. Benötigt wird eine vollständige Kenntnis der Lieferglieder, wie sie bei verschiedenen Liefergliedern in einem Unternehmen verfügbar sein können, aber in der Regel nicht bei rechtlich selbständigen Liefergliedern.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zu schaffen, das eine Vorlaufzeit für ein Vorprodukt eines Liefergliedes in einem Fertigungsnetzwerk optimiert, ohne daß ein Modell des Fertigungsnetzwerkes oder die Kenntnis von Fertigungskapazitäten benötigt werden. Das Verfahren soll auch bei einem zeitlich veränderlichen Bedarf an dem Vorprodukt anwendbar sein.

Die Aufgabe wird durch das Verfahren nach Anspruch 1, die Vorrichtung nach Anspruch 11 und dem Computerprogramm-Produkt nach Anspruch 12 oder Anspruch 13 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

Die Erfindung sieht vor, daß eine Soll-Lieferkurve und eine Bestandskurve ermittelt werden. Die Soll-Lieferkurve gibt für mehrere Zeitpunkte die aufgrund des Bedarfs eines Endabnehmers des Fertigungsnetzwerkes jeweils zu liefernde Menge des

Vorprodukts an. Die Zeitpunkte und Mengen der Soll-Lieferkurve beziehen sich auf das Lieferglied, z. B. sind es Soll-Stückzahlen jeweils bezogen auf den Zeitpunkt, an dem die gefertigten Exemplare des Vorprodukts die Fertigungsstätte des Liefergliedes verlassen. Die Bestandskurve gibt für mehrere Zeitpunkte die jeweils vom Lieferglied fertiggestellte und noch nicht von einem nachfolgenden Lieferglied verwendete Menge des Vorprodukts an. Eine Korrektur-Zeitspanne für die Ist-Vorlaufzeit wird durch eine Auswahl aus einer Menge von möglichen Zeitpunkten ausgewählt. Hierfür wird für jede mögliche Zeitspanne eine Simulations-Bestandskurve berechnet. Eine solche Simulations-Bestandskurve für eine mögliche Zeitspanne gibt für mehrere Zeitpunkte an, welche Menge des Vorprodukts zum jeweiligen Zeitpunkt vom Lieferglied fertiggestellt und noch nicht von einem nachfolgenden Lieferglied verwendet worden wäre, wenn die vom Lieferglied für das Vorprodukt benötigte Vorlaufzeit um die Zeitspanne gegenüber der Ist-Vorlaufzeit verändert worden wäre. Für die Berechnung einer solchen Simulations-Bestandskurve werden die Soll-Lieferkurve und die Bestandskurve verwendet. Als Korrektur-Zeitspanne wird unter der Menge der möglichen Zeitspannen eine solche Zeitspanne ausgewählt, die optimal bezüglich eines Optimierungs-Kriteriums ist. Dieses Optimierungs-Kriterium basiert auf den berechneten Simulations-Bestandskurven. Beispielsweise ist das Optimierungs-Kriterium die Streuung einer Simulations-Bestandskurve. Diejenige mögliche Zeitspanne wird als Korrektur-Zeitspanne ausgewählt, die zu einer Simulations-Bestandskurve führt, die die geringste Streuung unter allen Simulations-Bestandskurven aufweist.

Die ermittelte Korrektur-Zeitspanne ist optimal für die tatsächlich aktuell gültigen Bestands- und Bedarfswerte und damit dem aktuellen Fertigungsprozeß. Das Verfahren vermeidet es, Werte der Vergangenheit für die Zukunft fortzuschreiben, zu generalisieren oder zu extrapolieren. Nicht erforderlich ist es, die Vorlaufzeit als statistische Zufallsgröße zu behandeln oder ein neuronales Netz zu trainieren, das die Vor-

laufzeit vorhersagt. Dank der Erfindung, insbesondere des Optimierungskriteriums, wird automatisch, nachvollziehbar, wiederholbar und objektiv eine bestimmte Zeitspanne als Vorlaufzeit bestimmt.

Das Verfahren benötigt keine Informationen über das Fertigungsnetzwerk oder über andere Lieferglieder, sondern lediglich eine Bestandskurve für dasjenige Lieferglied, welches das Vorprodukt herstellt, und eine Soll-Lieferkurve aus Sicht des Liefergliedes. Weiterhin wird kein Wissen über oder ein Modell z. B. mit einzelnen Prozeßschritten oder Zeitspannen für Fertigungsschritte bei der Herstellung des Vorproduktes oder eines Zwischen- oder Endproduktes, für dessen Herstellung das Vorprodukt verwendet wird, benötigt. Dieser Vorteil kommt insbesondere dann zum Tragen, wenn das Fertigungsnetzwerk rechtlich selbständige Unternehmen umfaßt und ein Endabnehmer die Fertigungsabläufe eines Liefergliedes nicht im Detail kennt. Es ist noch nicht einmal erforderlich, die Ist-Vorlaufzeit für das Vorprodukt zu kennen. Das Verfahren benötigt die Kenntnis dieses Parameters nicht. In einer weiter unten beschriebenen Ausführungsform wird hingegen die Ist-Vorlaufzeit ermittelt und für die Bestimmung der Soll-Lieferkurve verwendet. Die Ist-Vorlaufzeit wird z. B. aus Betriebsprotokollen, aus Vorgaben für das Lieferglied oder aufgrund einer Schätzung ermittelt.

Das erfindungsgemäße Verfahren ermittelt eine Korrektur-Zeitspanne insbesondere dann, wenn der Bedarf um einen gleichbleibenden Mittelwert schwankt, und auch dann, wenn der durchschnittliche Bedarf und damit eine Ausgleichsgerade durch die Soll-Lieferkurve ansteigt oder absinkt. Letzteres ist beispielsweise dann der Fall, wenn der Endabnehmer die Produktion einer neuen Baureihe hochfährt oder die einer auslaufenden Baureihe herunterfährt.

Insbesondere weil das Verfahren kein Modell und kein neuronales Netz auswertet, benötigt das Verfahren nur wenig Rechenkapazität und wenig Rechenzeit. Diejenigen Daten, die für das



erfindungsgemäße Verfahren benötigt werden, stehen insbesondere bei einer Serienfertigung ohnehin zur Verfügung.

Im folgenden wird eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens anhand der beiliegenden Figuren näher beschrieben. Dabei zeigen:

- Fig. 1. ein schematisches Abbild eines Fertigungsnetzwerkes von Liefergliedern;
- Fig. 2. eine ausgewählte Lieferkette im Netzwerk der Lieferglieder;
- Fig. 3. ein umgeformtes schematisches Abbild mit firmenübergreifenden Lagern;
- Fig. 4. beispielhaft eine Bestandskurve und eine Endabnehmer-Bedarfskurve für ein Zwischenprodukt;
- Fig. 5. die Bestandskurve von Fig. 4 und eine aus Fig. 4 abgeleitete Endabnehmer-Bedarfskurve für das Vorprodukt;
- Fig. 6. die Bestandskurve von Fig. 4 und eine aus Fig. 5 abgeleitete Soll-Lieferkurve für das Vorprodukt;
- Fig. 7. zwei Simulations-Bestandskurven für die mögliche Zeitspanne 0 Tage (oben) und 3 Tage (unten) auf Basis der Soll-Lieferkurve und der Bestandskurve aus Fig. 6;
- Fig. 8. zwei weitere Simulations-Bestandskurven für die mögliche Zeitspanne 5 Tage (oben) und -2 Tage (unten) auf Basis der Soll-Lieferkurve und der Bestandskurve aus Fig. 6;
- Fig. 9. zwei Simulations-Bestandskurven für die mögliche Zeitspanne 3 Tage und einem Standardbedarf von 500 (oben) bzw. 0 Stück (unten);
- Fig. 10. Soll-Lieferkurve und Bestandskurve bei Losgrößenfertigung;
- Fig. 11. Eine Simulations-Bestandskurve und eine um die Auswirkungen der Losgrößen-Fertigung bereinigte

Simulations-Bestandskurve für das Beispiel der  
Fig. 10.

Fig. 1 zeigt ein Abbild eines Fertigungsnetzwerks, in dem von einem Netzwerk 10 von Liefergliedern 20 Vor- und Zwischenprodukte hergestellt werden, die ein Endabnehmer 30 verwendet, um seinerseits ein Endprodukt zu fertigen. Ein Endabnehmer bildet also eine Senke des Fertigungsnetzwerks. Vor- und Zwischenprodukte sind hierbei insbesondere Rohmaterialien, Halbzeuge, Komponenten und Teilsysteme des Endproduktes. Der Begriff „Lieferglied“ bezeichnet nicht nur Fertigungsstätten von physikalischen Ressourcen, sondern auch Dienstleister. Jedes Lieferglied 20 in diesem Fertigungsnetzwerk 10 ist in Fig. 1 in Form eines Kästchens dargestellt, die Pfeile zwischen den Kästchen zeigen die Lieferrichtung zwischen den Liefergliedern 20 an. Die Lieferglieder 20 beliefern gemeinsam den Endabnehmer 30, der das letzte Glied des Fertigungsnetzwerkes 10 darstellt. Die Mehrzahl der Lieferglieder 20 innerhalb des Fertigungsnetzwerkes 10 sind in Form von Lieferketten 40 vernetzt voneinander abhängig, wobei jeweils ein Lieferglied 20 das sich in der Lieferfolge anschließende Lieferglied 20 mit Ware beliefert. Ein Beispiel für Lieferglieder 20, die gemeinsam eine solche Lieferkette 40 darstellen, ist in Fig. 1 dadurch dargestellt, daß die Kästchen für die beteiligten Lieferglieder schraffiert sind. Das Lieferglied 20.a liefert im Beispiel der Fig. 1 an das Lieferglied 20.b, das Lieferglied 20.b liefert seinerseits an das Lieferglied 20.c, das Lieferglied 20.c liefert seinerseits an das Lieferglied 20.d, und Lieferglied 20.d liefert an den Endabnehmer 30. Die Lieferglieder 20.a bis 20.d bilden zusammen die in Fig. 1 schraffiert dargestellte Lieferkette.

Wenn ein Unternehmen ein einziges Produkt oder eine einzige Dienstleistung für verschiedene Abnehmer bereitstellt, bildet es ein einziges Lieferglied mit mehreren nachfolgenden Liefergliedern. Die Lieferkette verzweigt sich also an diesem Punkt. Falls es hingegen verschiedene Produkte oder Dienst-

leistungen an verschiedenen Standorten für den Herstellungsprozeß liefert, so ist dieses Unternehmen durch mehrere Lieferglieder im Netzwerk vertreten.

Das erfindungsgemäße Verfahren erfordert nicht notwendigerweise die Kenntnis des Liefernetzwerks 10. Welche Informationen benötigt werden, wird weiter unten dargelegt.

Fig. 2 zeigt ein konkretes Beispiel einer aus mehreren Liefergliedern 20 zusammengesetzten Lieferkette 40: Hierbei handelt es sich beispielhaft um den Herstellungsprozeß von Lederkomponenten, die vom Endabnehmer 30 als Teil einer Türinnenverkleidung eines Personenkraftwagens verbaut werden. Die Lieferkette 40 umfaßt vier Fertigungsstätten 20.d1, 20.d2, 20.e, 20.g, von denen sich drei (die Fertigungsstätten 20.d1 [Lederzuschnitt für graue Leder], 20.d2 [Lederzuschnitt für nicht-graue Leder] und 20.e [Nähen des Lederzuschnittes]) in Südafrika und eine (Fertigungsstätte 20.g [Teilmontage Türinnenverkleidung]) in Deutschland befinden. Weiterhin enthält die Lieferkette 40 ein Transportunternehmen 20.f, das die Lederhalbzeuge aus Südafrika nach Deutschland transportiert, und das Lieferglied 20.h [Endmontage Türinnenverkleidung].

Wie in Fig. 2 gezeigt ist, verfügt jedes Lieferglied 20 dieses Ausführungsbeispiels über mindestens eine Prozeßstufe 60, die eine oder mehrere Produktionsstufen, Transportstufen etc. umfassen kann, und einen Ausgangspuffer 70. Wenn das Lieferglied 20 von anderen Liefergliedern beliefert wird, hat es mindestens einen Eingangspuffer 50. Die Puffer 50, 70 stellen Lagerbestände dar und dienen dazu, den Materialfluß zwischen anderen in der Lieferkette 40 befindlichen Liefergliedern 20 zumindest teilweise zu entkoppeln. So stellt z.B. der Eingangspuffer 50.a der Fertigungsstätte 20.g sicher, daß die Fertigungsstätte 20.g genügend Lederhalbzeuge zur Teilmontage der Türinnenverkleidung zur Verfügung hat, bis die nächste Lieferung erfolgt. Um auch bei Lieferschwierigkeiten der Fertigungsstätten 20.d und 20.e oder des Transporteurs 20.f Türinnenverkleidungen montieren zu können, kann es für die Fer-

tigungsstätte 20.g sinnvoll sein, ihren Eingangspuffer 50.a größer auszulegen.

Um die Ermittlung der Korrektur-Zeitspanne nicht mit Schwankungen zu erschweren, die beim Transport von Vor- und Zwischenprodukten auftreten, wird das Abbild des Fertigungsnetzwerkes vorzugsweise so umgeformt, wie es durch Fig. 3 illustriert wird. Derartige Schwankungen können z. B. deshalb auftreten, weil mehrere Vor- oder Zwischenprodukte zu einem Transport zusammengestellt und gemeinsam transportiert werden. Für die Ermittlung ist es aber nicht von Bedeutung, ob ein Vor- oder Zwischenprodukt sich in einem Ausgangspuffer eines Liefergliedes, auf dem Transport zwischen zwei Liefergliedern oder im Eingangspuffer eines nachfolgenden Liefergliedes befindet. Daher werden im Abbild des Fertigungsnetzwerkes 10 firmenübergreifende Lager gebildet, indem Ausgangspuffer, transportierende Lieferglieder und Eingangspuffer zu einem firmenübergreifenden Lager zusammengefaßt werden. Diese Ausgestaltungen erspart darüber hinaus Ermittlungen, z. B. die, welche Stückgrößen sich wann auf dem Transport befinden.

So werden beispielsweise der Ausgangspuffer 70.g des Liefergliedes 20.g und der Eingangspuffer 50.h des nachfolgenden Liefergliedes 20.h zu einem firmenübergreifenden Lager 25.g zusammengefaßt. Weiterhin werden der Ausgangspuffer 70.g des Liefergliedes 20.g, das transportierende Lieferglied 20.f mitsamt seinem Eingangspuffer 50.f und seinem Ausgangspuffer 70.f und der Eingangspuffer 50.g des nachfolgenden Liefergliedes 20.g zu einem weiteren firmenübergreifenden Lager 25.f zusammengefaßt.

Für jedes Lieferglied 20 des Fertigungsnetzwerkes 10 läßt sich mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens eine Korrektur-Zeitspanne zur Ist-Vorlaufzeit bestimmen. Eine Ausführungsform des Verfahrens wird im folgenden am Beispiel des Liefergliedes 20.d1 aus Fig. 3 erläutert. Das Lieferglied 20.d1 stellt ein Vorprodukt V her, das nachfolgende Lieferglieder in Zwischenprodukten verwenden, die ihrerseits vom Endabnehmer 30 zur Herstellung des Endprodukts verwendet werden. In

diesem Beispiel ist das Vorprodukt V grauer Lederzuschnitt für Türinnenverkleidungen.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird auf einer Datenverarbeitungsanlage, beispielsweise einem PC, durchgeführt. Diese Datenverarbeitungsanlage hat Lesezugriff auf Datenspeicher, in denen die für die Bestandskurve und die für die Soll-Lieferkurve benötigten Werte abgespeichert sind. Bei Bedarf werden die Werte auf Plausibilität geprüft und aufbereitet. Fehlende Werte werden z. B. durch Interpolation geschätzt.

Das erfindungsgemäße Verfahren benötigt vorzugsweise den zeitlichen Verlauf zweier variabler Größen, nämlich des Bestands und des Bedarfs für das vom Lieferglied hergestellte Vorprodukt V. Die zeitlichen Verläufe werden in einer Bestandskurve bzw. einer Soll-Lieferkurve angezeigt.

Die Bestandskurve gibt für mehrere Zeitpunkte den Bestand des Vorprodukts V beim Lieferglied 20.d1 an, das ist die jeweils vom Lieferglied (20.d1) fertiggestellte und noch nicht von einem nachfolgenden Lieferglied verwendete Menge des Vorprodukts V.

Die Menge wird beispielsweise in Stückzahlen bestimmt. Die Bestände werden vorzugsweise an jeweils einer bestimmten Uhrzeit an N aufeinanderfolgenden Tagen bestimmt. Die mehreren Zeitpunkte sind also N aufeinanderfolgende Tage. Der Zeitraum, den die N aufeinanderfolgenden Tage abdecken, wird bevorzugt so groß gewählt, daß das Verfahren robust gegenüber Kapazitätseinbrüchen und Kapazitätsausfällen beim Lieferglied 20.d1 ist. Damit läßt sich das erfindungsgemäße Verfahren ohne Änderungen auch dann anwenden, wenn das Lieferglied, welches das Vorprodukt herstellt, einen Kapazitätseinbruch aufweist. Die Dauer des Kapazitätseinbruchs ist dann kurz im Vergleich zu dem durch die Zeitpunkte abgedeckten Zeitraum. Insbesondere bei einer Serienfertigung z. B. in der Automobilindustrie werden Stückzahlen ohnehin über einen längeren Zeitraum hinweg aufgezeichnet.

Der Zeitraum wird bevorzugt so festgelegt, daß er mindestens fünfmal so lang wie der maximale Zeitraum zwischen Auftreten und Beseitigung einer Lieferbeschränkung bei dem das Vorprodukt V herstellende Lieferglied 20.d1. Typischerweise lassen sich Kapazitätseinbrüche eines Liefergliedes 20 binnen zehn Tagen beheben, so lehrt die bisherige Erfahrung. Daher wird als Zeitraum für die Bestandskurve mindestens das Fünffache von zehn Tagen gewählt, also beträgt in diesem Beispiel N mindestens 60 Tage.

Eine weitere Ausgestaltung sieht vor, daß in der Bestandskurve keine absoluten Bestände angegeben werden, sondern nur die jeweilige Veränderung gegenüber einem Anfangswert, z. B. einem Anfangsbestand oder einem Sollbestand oder einem Durchschnittsbestand oder einem Standard-Bestand.

Bevorzugt bezieht sich die Bestandskurve auf ein firmenübergreifendes Lager, im Beispiel der Fig. 3 ist dies das Lager 25.d1. Für die Durchführung des Verfahrens braucht nicht unterschieden zu werden, wo im firmenübergreifenden Lager sich wie viele Stück des Vorprodukts V befinden. Die Stückzahlen im Ausgangspuffer, Transit und nachfolgendem Eingangspuffer brauchen also nicht voneinander unterschieden zu werden.

Vielmehr reicht es aus, für einen Zeitpunkt den gesamten Bestand im firmenübergreifenden Lager zu ermitteln und die Bestände für jeden nachfolgenden Zeitpunkte dadurch zu ermitteln, daß der Zugang in den Eingangspuffer und der Abgang aus dem Ausgangspuffer ermittelt werden und der Zugang zum vorherigen Bestand addiert und der Abgang subtrahiert wird.

Die Soll-Lieferkurve gibt die Menge des Vorprodukts V an, die zu liefern ist, um den Bedarf (die Nachfrage) des Endabnehmers 30 am Vorprodukt V oder einem Zwischenprodukt Z, das unter Verwendung des Vorprodukts V hergestellt wird, zu decken. Der Bedarf bezieht sich jeweils auf eine Basis-Zeitspanne, z. B. wird der Bedarf für einen bestimmten Tag angegeben. Die Soll-Lieferkurve gibt bevorzugt die Liefermenge an N aufeinanderfolgenden Tagen eines Zeitraums an, wobei N und der Zeitraum wie oben beschrieben bestimmt werden.

Das Lieferglied 20.d1 muß in der Regel eine größere Menge des Vorproduktes produzieren, beispielsweise weil einige Exemplare des Vorprodukts nicht die geforderte Qualität besitzen, weil nachfolgende Lieferglieder die Exemplare in Zwischenprodukten unzureichender Qualität einbauen oder weil einzelne Exemplare des Vorprodukts oder eines mit dem Vorprodukt gefertigten Zwischenprodukts einer zerstörenden Prüfung unterzogen werden. Dieser „Schwund“ wird bevorzugt durch einen prozentuellen Aufschlag auf die nachgefragte Menge des Vorprodukts berücksichtigt. In der Soll-Lieferkurve wird vorzugsweise bereits die erhöhte Soll-Liefermenge berücksichtigt.

Eine Soll-Liefermenge bezieht sich jeweils auf den Zeitpunkt, an dem das Lieferglied 20.d1 das Vorprodukt V fertiggestellt haben muß, damit es termingerecht bei nachfolgenden Liefergliedern eingeht und letztlich der Bedarf des Endabnehmers 30 gedeckt wird. Möglich ist, diese Bedarfe direkt beim Lieferglied zu bestimmen, z. B. aus den Soll-Auslieferungszahlen des Liefergliedes 20.d1.

Eine bevorzugte Ausführungsform sieht hingegen vor, eine Endabnehmer-Bedarfskurve zu ermitteln. Die Bedarfe in dieser Endabnehmer-Bedarfskurve beziehen sich jeweils auf den Zeitpunkt, an dem der Endabnehmer 30 die jeweilige Menge des Vorprodukts - oder eines Zwischenprodukts, für dessen Herstellung das Vorprodukt benötigt wird - benötigt. Weiterhin wird die Ist-Vorlaufzeit ermittelt, die das Lieferglied 20.d1 für die Lieferung des Vorprodukts V benötigt. Diese Ist-Vorlaufzeit wird z. B. von Hand geschätzt oder aus Verträgen zwischen dem Lieferglied 20.d1 einerseits und nachfolgenden Liefergliedern und/oder den Endabnehmer andererseits oder wie oben beschrieben aus „lokalen Vorlaufzeiten“ näherungsweise ermittelt. Mit Hilfe der Endabnehmer-Bedarfskurve und der Ist-Vorlaufzeit wird die Soll-Lieferkurve ermittelt.

In dem Beispiel der Fig. 1 bis Fig. 3 verwendet der Endabnehmer 30 das Vorprodukt V nicht direkt, sondern verwendet ein Zwischenprodukt, welches das Lieferglied 20.h unter Verwen-

dung des Vorproduktes V herstellt, nämlich Türinnenverkleidungen. Bevorzugt wird daher eine Stückliste verwendet, welche für die Endprodukte, die der Endabnehmer 30 ausliefert, und/oder für die Zwischenprodukte, die der Endabnehmer 30 verwendet, die jeweils benötigten Anzahlen der Vorprodukte angibt. Beispielsweise werden für eine graue Türinnenverkleidung u. a. zwei Stück des Vorprodukts V, also grauer Lederzuschnitt, benötigt. Ein Kraftfahrzeug benötigt zwei Türinnenverkleidungen. Für Autos mit grauer Türinnenverkleidungen werden vier Stück des Vorprodukts V pro Auto benötigt.

Die Endabnehmer-Bedarfskurve gibt den Bedarf für graue Türinnenverkleidungen an. Mit Hilfe der Stückliste sowie der Ist-Vorlaufzeit wird aus dieser die Soll-Lieferkurve für das Vorprodukt V erzeugt. In diesem Beispiel gibt die Soll-Lieferkurve 110 die Stückzahlen für grauen Lederzuschnitt an.

In Fig. 4 werden beispielhaft eine Bestandskurve 100 für das Vorprodukt V und eine Endabnehmer-Bedarfskurve 1100 für ein dem Endabnehmer 30 geliefertes Zwischenprodukt Z gezeigt. Die Ausschnitte beziehen sich jeweils auf einen Zeitraum von  $N = 20$  Tagen. In diesem Beispiel ist ein bestimmter Tag, z. B. der 1. März 2001, mit dem Tag 1 bezeichnet. Die Bestandskurve 100 zeigt den zeitlichen Verlauf der Bestandsabweichung im firmenübergreifenden Lager 25.d1 für die Tage 1 bis 20, also für den 1. März 2001 bis zum 20. März 2001. Die Werte geben die Abweichung des Bestandes bezogen auf den Tag 1 an. An den Tagen 5, 6, 7, 8 und 9 beträgt die Abweichung -50 Stück des Vorproduktes V, an allen anderen Tagen 0 Stück.

Die Endabnehmer-Bedarfskurve 1100 zeigt den zeitlichen Verlauf des Bedarfs, den der Endabnehmer 30 an einem dem Endabnehmer geliefertes Zwischenprodukt, in diesem Beispiel die Türinnenverkleidung, hat. Der Bedarf ist für die Tage 11 bis 30 aufgetragen. Diese Werte werden z. B. aus vorhandenen Werten für die Produktion des Endabnehmers 30 ermittelt.

In Fig. 5 werden die Bestandskurve der Fig. 4 und eine mit Hilfe der Stückliste erzeugte Endabnehmer-Bedarfskurve 1110



für das Vorprodukt V gezeigt. Die Endabnehmer-Bedarfskurve 1110 zeigt den zeitlichen Verlauf des Bedarfs, den der Endabnehmer 30 an dem Vorprodukt V hat. Der Bedarf ist für die Tage 11 bis 30 aufgetragen. Gemessen wird er in Stück des Vorprodukts, in diesem Beispiel in Stück graues Leder. Die Zeitpunkte, hier die Tage 11 bis 30, sind die Zeitpunkte, an denen der Endabnehmer das Zwischenprodukt benötigt, das unter Verwendung des Vorproduktes hergestellt wird, hier graue Türinnenverkleidungen. Am Tag 15, also dem 15. März 2001, benötigte der Endabnehmer so viele graue Türinnenverkleidungen, daß zu ihrer Herstellung 550 Stück graue Leder verwendet werden.

In diesem Beispiel beträgt die geschätzte Ist-Vorlaufzeit für das Vorprodukt V 10 Tage. Die Endabnehmer-Bedarfskurve 1110 für das Vorprodukt V wird um die Ist-Vorlaufzeit entlang der Zeitachse verschoben. Fig. 6 zeigt das Ergebnis. Die Bedarfe, hier Stückzahlen, in der Soll-Lieferkurve 110 beziehen sich auf die Zeitpunkte, an denen das Lieferglied 20.d1 das Vorprodukt, hier Leder, fertiggestellt und an nachfolgende Lieferglieder geliefert haben muß, damit die grauen Türinnenverkleidungen rechtzeitig den Endabnehmer erreichen.

Vorzugsweise wird weiterhin ein Standard-Bedarf für das vom Lieferglied 20.d1 gefertigte Vorprodukt V ermittelt. Dieser Standard-Bedarf ist beispielsweise der durchschnittliche Bedarf in den letzten N Tagen.

Die Korrektur-Zeitspanne wird in der bevorzugten Ausführungsform durch den im folgenden angegebenen Algorithmus ermittelt. Um den Algorithmus zu beschreiben, wird das Beschreibungsmittel des Pseudo-Codes verwendet. Die Bezugszeichen im Pseudo-Code haben folgende Bedeutungen:

VLZ_Ist	Die Ist-Vorlaufzeit, die als Startwert verwendet wird
$\Delta$ VLZ	eine mögliche Zeitspanne
$\Delta$ VLZ_opt	die zu bestimmende optimale Korrektur-Zeitspanne.

VLZ_opt	Die zu bestimmende Vorlaufzeit. VLZ_opt ist die Summe VLZ Ist + $\Delta$ VLZ_opt
1...N	Die Tage, für die die Werte der Soll-Lieferkurve ermittelt und abgespeichert werden
Bestand[i]	Der Bestand im firmenübergreifenden Lager am Tag i ( $i=1, \dots, N$ ), gemessen in Stück des Vorprodukts V
Bestand[1 : N]	Die Bestandskurve für den Zeitraum von Tag 1 bis Tag N
EA-Bedarf[j]	Der Bedarf des Endabnehmers am Vorprodukt V am Tag j ( $j= \text{VLZ\_Ist}+1, \dots, \text{VLZ\_Ist}+N$ ), gemessen in Stück des Vorprodukts V und für die Zeitpunkte der Anlieferung beim Endabnehmer
Sollmenge[i]	Die Soll-Liefermenge aufgrund des Bedarf des Endabnehmers am Vorprodukt V am Tag i ( $i=1, \dots, N$ ), gemessen in Stück des Vorprodukts V und für die Zeitpunkte der Auslieferung durch das Lieferglied
Sollmenge Std	ein Standardwert für die Soll-Liefermenge
[- $\Delta$ VLZ_max, ... $\Delta$ VLZ_max]	Menge der möglichen Zeitspannen, für die jeweils eine Simulations-Bestandskurve bestimmt wird
Bestand_sim[i]	Wert der Simulations-Bestandskurve für den Tag i ( $i=1, \dots, N$ )
Bestand_sim [a : b]	Die Simulations-Bestandskurve für den Zeitraum von Tag a bis Tag b ( $1 \leq a < b \leq N$ )
Streuung_min	Minimale Streuung aller Simulations-Bestandskurven

For i = 1 To N

Sollmenge[i] := EA-Bedarf[i+VLZ\_Ist]

```
Next i
ΔVLZ_opt := 0
Streuung_min := Streuung(Bestand[ΔVLZ_max-1 : N+1-ΔVLZ_max])
For ΔVLZ = -ΔVLZ_max To ΔVLZ_max
    For i = 1 To N
        Bestand_sim[i] := Bestand[i]
    Next i
    If ΔVLZ > 0 Then
        For i = 1 To N
            Summe := 0
            For k = 0 To ΔVLZ - 1
                If i-k > 0 Then
                    Summe :=
                    Summe + (Sollmenge[i-k] - Sollmenge_Std)
                End If
            Next k
            Bestand_sim[i] := Bestand_sim[i] + Summe
        Next i
    End If
    If ΔVLZ < 0 Then
        For i = 1 To N
            Summe := 0
            For k = ΔVLZ To - 1
                If i-k <= N Then
                    Summe :=
                    Summe + (Sollmenge[i-k] - Sollmenge_Std)
                End If
            Next k
        Next i
    End If
End If
```

```

        Bestand_sim[i] := Bestand_sim[i] - Summe
    Next i
End If

Streuung_neu :=
Streuung(Bestand_sim[AVLZ_max-1 : N+1-AVLZ_max])

If Streuung_min > Streuung_neu Then
    Streuung_min := Streuung_neu
    AVLZ_opt := AVLZ
End If

Next AVLZ

VLZ_opt := VLZ_Ist + AVLZ_opt

```

Die Streuung, oft auch Standardabweichung, einer Meßwertreihe  $(x_1, \dots, x_N)$  wird nach der Formel

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu_N)^2}$$

bestimmt, wobei

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \text{ der Mittelwert der Meßwerte } (x_1, \dots, x_N) \text{ ist.}$$

Anstelle der Streuung lassen sich auch andere auf die Simulations-Bestandskurven bezogene Optimierungs-Kriterien verwenden. Beispielsweise wird eine Simulations-Bestandskurve nach einer der Formeln

$$\text{Bew} = \sqrt[k]{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N |x_i - \mu_N|^k}$$

wobei  $k$  eine positive Zahl ist, oder

$$\text{Bew} = \max \{ |x_i - x_j|, \text{ so daß } i=1, \dots, N \text{ und } j=1, \dots, N \}$$

bewertet. Falls alle Werte der Simulations-Bestandskurve identisch sind, ist  $\text{Bew} = 0$ . Diejenige mögliche Zeitspanne, die zur Simulations-Bestandskurve mit der geringsten Bewer-

tung Bew führt, wird als Korrektur-Zeitspanne ausgewählt. Möglich ist auch, daß als Korrektur-Zeitspanne der Wert 0 bestimmt wird. Dann ist die Ist-Vorlaufzeit bereits optimal.

Alle oben aufgeführten Optimierungs-Kriterien führen dazu, daß diejenige Korrektur-Zeitspanne ausgewählt wird, die zu den geringsten Schwankungen des Lagerbestandes für das Vorprodukt V beim Lieferglied 20.d1, welches das Vorprodukt herstellt, führen.

Fig. 7 und Fig. 8 zeigen vier Simulations-Bestandskurven für die Bestandskurve und die Soll-Lieferkurve von Fig. 6. In diesem Beispiel sind  $N = 20$  Tage und  $\Delta VLZ_{\max} = 5$ . Die Menge der möglichen Zeitspannen ist also das Intervall  $[-5 \text{ Tage}, +5 \text{ Tage}]$  um die Ist-Vorlaufzeit  $VLZ_{\text{Ist}} = 10$  Tage.

Fig. 7 zeigt oben eine Simulations-Bestandskurve 130 für  $\Delta VLZ = 0$  Tagen und unten eine Simulations-Bestandskurve 140 für  $\Delta VLZ = 3$  Tagen. Fig. 8 zeigt oben eine Simulations-Bestandskurve 150 für  $\Delta VLZ = 5$  Tagen und unten eine Simulations-Bestandskurve 160 für  $\Delta VLZ = -2$  Tagen. Der Standardbedarf beträgt in allen vier Fällen 500 Stück. Die Streuung  $\sigma$  der Simulations-Bestandskurve 130 in Fig. 7 beträgt  $\sigma = 25,75$ , die der Simulations-Bestandskurve 140  $\sigma = 19,46$ . Die Streuung  $\sigma$  der Simulations-Bestandskurve 150 in Fig. 8 beträgt  $\sigma = 0$ , die der Simulations-Bestandskurve 160  $\sigma = 25,62$ . Das erfindungsgemäße Verfahren liefert eine Korrektur-Zeitspanne von  $\Delta VLZ_{\text{opt}} = 5$  Tagen und damit eine Vorlaufzeit  $VLZ_{\text{opt}} = VLZ_{\text{Ist}} + \Delta VLZ_{\text{opt}} = 10 + 5 = 15$  Tagen.

Fig. 9 sowie die nachfolgende Tabelle illustrieren, daß das erfindungsgemäße Verfahren dasselbe Ergebnis liefert, wenn ein anderer Wert für den Standardbedarf vorgegeben wird.

Tag	Simulations-Bestandskurve Standardbedarf = 500	Simulations-Bestandskurve Standardbedarf = 0
1	0	500
2	0	1000
3	0	1500

4	0	1500
5	0	1500
6	0	1500
7	0	1500
8	-50	1450
9	-50	1450
10	0	1500
11	0	1500
12	0	1500
13	0	1500
14	0	1500
15	0	1500
16	0	1500
17	0	1500
18	0	1500
19	0	1000
20	0	500

Da die ersten ( $\Delta VLZ_{\max}-1$ ) Werte, in diesem Beispiel die ersten vier Werte, bei der Berechnung der Streuung nicht berücksichtigt werden, ergibt sich für die Simulations-Bestandskurven 130 und 130.1 die gleiche Streuung  $\sigma = 19,46$ . Grundsätzlich hängen die Streuung oder auch die anderen oben beschriebenen Optimierungskriterien nicht von Wert des Standardbedarfs ab.

Eine Weiterbildung der Erfindung wird angewendet, wenn das Vorprodukt V in Losen gefertigt wird. Bei einer Fertigung in Losen wird ein Los, das ist ein Vielfaches einer Basismenge des Vorprodukts, beispielsweise eine bestimmte Stückzahl des Vorprodukts, auf einmal gefertigt und wird an einem Zeitpunkt dem Lager zugeführt. Ein Los deckt den Bedarf eines nachfol-

genden Liefergliedes am Vorprodukt V für alle Zeitpunkte bis zur Fertigstellung des nächsten Loses. Losfertigung wird z. B. in H. Tempelmeier: „Material-Logistik: Grundlagen der Bedarfs- und Losgrößenplanung in PPS-Systemen“, Springer-Verlag, Berlin und Heidelberg, 1995, beschrieben.

Fig. 10 zeigt beispielhaft eine weitere Soll-Lieferkurve 200 und eine Bestandskurve 210 bei Losfertigung. In diesem Beispiel wird jeweils ein Los an den Tagen 1, 6, 11, 16 und 21 gefertigt. Die Bestandskurve 210 hat einen sägezahnartigen Verlauf, weil täglich Stücke des Vorprodukts V dem Lager 25.d1 entnommen werden, aber nur alle fünf Tage dieses Lager aufgefüllt wird. Die Ausgestaltung des Verfahrens setzt nicht voraus, daß die Lose in gleichen Abständen, z. B. alle fünf Tage, fertiggestellt werden.

Die Korrektur-Zeitspanne Vorlaufzeit wird gemäß der Weiterbildung, bei der Losfertigung berücksichtigt wird, durch den im folgenden angegebenen Algorithmus ermittelt. Auch dieser Algorithmus wird mit Hilfe des Beschreibungsmittels des Pseudo-Codes beschrieben. Die zusätzlichen Bezugszeichen im Pseudo-Code haben folgende Bedeutungen:

M	die Anzahl der Los-Fertigstellungs-Zeitpunkte in den Tagen 1,...,N
LFZ[1],..., LFZ[M]	Los-Fertigstellungs-Zeitpunkte in den Tagen 1,...,N
Bestand_sim_ber	Wert der bereinigten Simulations-Bestandskurve am Tag i (i=1,...,N), gemessen in Stück des Vorprodukts V

Im Beispiel der Fig. 10 sind  $M = 5$ ,  $LFZ[1] = 1$ ,  $LFZ[2] = 6$ ,  $LFZ[3] = 11$ ,  $LFZ[4] = 16$  und  $LFZ[5] = 21$ .

$\Delta VLZ_{opt} := 0$

$Streuung_{min} := Streuung(Bestand[\Delta VLZ_{max}-1 : N+1-\Delta VLZ_{max}])$

For  $\Delta VLZ = -\Delta VLZ_{max}$  To  $\Delta VLZ_{max}$

```
For i = 1 To N
    Bestand_sim[i] := 0
Next i

For j = 1 To M
    Bestand_sim[LFZ[j]+ΔVLZ] :=
        Bestand[LFZ[j]] + Sollmenge[LFZ[j]]
        - Bestand[LFZ[j]-1]

    Bestand_sim[LFZ[j]+ΔVLZ] :=
        Bestand_sim[LFZ[j]+ΔVLZ] - Sollmenge[LFZ[j]+ΔVLZ]
        + Bestand_sim[LFZ[j]+ΔVLZ-1]

    For k = LFZ[j]+1 To LFZ[j+1]-1
        Bestand_sim[k+ΔVLZ] :=
            Bestand_sim[k-1+ΔVLZ] - Sollmenge[k+ΔVLZ]
    Next k

    For k = LFZ[j] To LFZ[j+1]-1
        Bestand_sim_ber[k+ΔVLZ] := Bestand_sim[k+ΔVLZ]

        For u = k+1 To LKZ[j+1]-1
            Bestand_sim_ber[k+ΔVLZ] :=
                Bestand_sim_ber[k+ΔVLZ] - Sollmenge[u+ΔVLZ]
        Next u
    Next k

Next j

Streuung_neu :=
Streuung(Bestand_sim[ΔVLZ_max-1 : N+1-ΔVLZ_max])

If Streuung_min > Streuung_neu Then
    Streuung_min := Streuung_neu
    ΔVLZ_opt := ΔVLZ
End If

Next ΔVLZ
```



$$VLZ_{opt} := VLZ_{Ist} + \Delta VLZ_{opt}$$

Fig. 11 zeigt die Simulations-Bestandskurve 220 und die bereinigte Simulations-Bestandskurve 230 für das Beispiel aus Fig. 10 und für die mögliche Zeitspanne -3 Tage. Auch in diesem Beispiel ist  $\Delta VLZ_{max} = 5$  Tage, so daß die ersten vier und die letzten vier Werte der bereinigten Simulations-Bestandskurve bei der Berechnung der Streuung nicht berücksichtigt werden. Daher ist für  $\Delta VLZ = -3$  Tage die Streuung gleich 0, so daß  $\Delta VLZ_{opt} = -3$  Tage und  $VLZ_{opt} = 10 + (-3) = 7$  Tage ist.

Zusammenfassend offenbart: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur automatischen Bestimmung einer Korrektur-Zeitspanne zur Korrektur einer Ist-Vorlaufzeit für die Lieferung eines Vorprodukts, das von einem Lieferglied eines Fertigungsnetzwerks hergestellt wird. Erfindungsgemäß werden eine Soll-Lieferkurve und eine Bestandskurve ermittelt. Die Soll-Lieferkurve gibt für mehrere Zeitpunkte die von einem Endabnehmer des Fertigungsnetzwerkes jeweils benötigte Menge des Vorprodukts an, die Bestandskurve die jeweils vom Lieferglied fertiggestellte und noch nicht ausgelieferte Menge des Vorprodukts. Die Korrektur-Zeitspanne wird durch eine Optimierung über einer Menge von möglichen Zeitspannen ausgewählt. Hierfür wird für jede mögliche Zeitspanne eine Simulations-Bestandskurve berechnet. Eine solche Simulations-Bestandskurve für eine mögliche Zeitspanne gibt für mehrere Zeitpunkte an, welche Menge des Vorprodukts zum jeweiligen Zeitpunkt vom Lieferglied fertiggestellt und noch nicht ausgeliefert worden wäre, wenn die vom Lieferglied für das Vorprodukt benötigte Vorlaufzeit um die mögliche Zeitspanne gegenüber der Ist-Vorlaufzeit verändert worden wäre. Als Optimierungskriterium wird z. B. die Streuungen der Simulations-Bestandskurven über der Zeit verwendet.

**Bezugszeichenliste**

<i>Zeichen</i>	<i>Bedeutung</i>
10	Netzwerk von Liefergliedern
20, 20.a, 20.b, ...	Lieferglieder
25.d1, 25.d2, ...	Firmenübergreifende Lager
30	Endabnehmer des Netzwerks 10
40	Lieferkette
50.a, 50.b, ...	Eingangspuffer der Lieferglieder
60, 60.a	Prozeßstufen der Lieferglieder
70.a, 70.b, ...	Ausgangspuffer der Lieferglieder
100	Bestandskurve für firmenübergreifendes Lager
110, 200	Soll-Lieferkurve
130, 130.1, 140, 150, 160	Simulations-Bestandskurven
210	Bestandskurve bei Losgrößenfertigung
220	Simulations-Bestandskurve bei Losgrößenfertigung
230	bereinigte Simulations-Bestandskurve bei Losgrößenfertigung
1100	Endabnehmer-Bedarfskurve für Zwischenprodukt Z
1110	Endabnehmer-Bedarfskurve für Vorprodukt V

Patentansprüche

1. Verfahren zur automatischen Bestimmung einer Korrektur-Zeitspanne ( $\Delta VLZ_{opt}$ ) zur Korrektur einer Ist-Vorlaufzeit für die Lieferung eines Vorprodukts (V), das mit einer Ist-Vorlaufzeit ( $VLZ_{Ist}$ ) von einem Lieferglied (20.d1) eines Fertigungsnetzwerks (10) hergestellt wird,  
wobei für mehrere Zeitpunkte die vom Lieferglied (20.d1) zur Deckung des Bedarfs eines Endabnehmers (30) des Fertigungsnetzwerks (10) jeweils fertigzustellende Menge des Vorprodukts (V) ermittelt und in Form einer Soll-Lieferkurve (110, 200) abgespeichert wird,  
d a d u r c h    g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß
  - für mehrere Zeitpunkte die jeweils vom Lieferglied (20.d1) fertiggestellte und noch nicht von einem nachfolgenden Lieferglied (20.e) verwendete Menge des Vorprodukts (V) ermittelt und in Form einer Bestandskurve (100) abgespeichert wird
  - und die Korrektur-Zeitspanne ( $\Delta VLZ_{opt}$ ) durch eine Auswahl aus einer Menge von möglichen Zeitspannen ( $\Delta VLZ$ ) bestimmt wird,

- wobei für jede mögliche Zeitspanne unter Verwendung der Soll-Lieferkurve (110) und der Bestandskurve (100) eine Simulations-Bestandskurve (130, 140, 150, 160) berechnet wird,  
die für mehrere Zeitpunkte angibt,  
welche Menge des Vorprodukts (V) zum jeweiligen Zeitpunkt vom Lieferglied (20.d1) fertiggestellt und noch nicht von einem nachfolgenden Lieferglied (20.e) verwendet worden wäre,  
wenn die vom Lieferglied (20.d1) für das Vorprodukt (V) benötigte Vorlaufzeit um die mögliche Zeitspanne gegenüber der Ist-Vorlaufzeit (VLZ\_Ist) verändert worden wäre,
- und wobei als Korrektur-Zeitspanne ( $\Delta VLZ_{opt}$ ) diejenige der möglichen Zeitspannen ausgewählt wird, die zu einer Simulations-Bestandskurve führt, die optimal bezüglich eines auf den Simulations-Bestandskurven (130, 130.1, 140, 150, 160) basierenden Optimierungskriteriums ( $\sigma$ ) ist.

## 2. Verfahren nach Anspruch 1,

d a d u r c h     g e k e n n z e i c h n e t ,

daß

- eine Ist-Vorlaufzeit (VLZ\_Ist) für das Vorprodukt (V) ermittelt wird
- und eine Soll-Vorlaufzeit (VLZ\_opt) für das Vorprodukt (V) als Summe von Ist-Vorlaufzeit (VLZ\_Ist) und Korrektur-Zeitspanne ( $\Delta VLZ_{opt}$ ) ermittelt wird.

## 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2,

d a d u r c h     g e k e n n z e i c h n e t ,

daß das Optimierungs-Kriterium die Minimierung der Streuungen der Simulations-Bestandskurven (130, 130.1, 140, 150, 160) ist.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
d a d u r c h     g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß bei der Ermittlung der fertiggestellten und noch nicht verwendeten Mengen des Vorprodukts (V)  
die Bestände am Vorprodukt (V) in einem Ausgangspuffer (70.d1) des Liefergliedes (20.d1), die Bestände im Transit zu den nachfolgenden Liefergliedern (20.e, ...) und die Bestände in einem Eingangspuffer (50.e) des nachfolgenden Liefergliedes (20.e) ermittelt und addiert werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
d a d u r c h     g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß bei der Ermittlung der vom Endabnehmer (30) jeweils benötigten Menge des Vorprodukts (V)  
die Menge mindestens eines Zwischenprodukts (Z), für dessen Herstellung das Vorprodukt (V) verwendet wird und das von einem weiteren Lieferglied (20.e, 20.f, ...) des Fertigungsnetzwerks (10) direkt an den Endabnehmer (30) geliefert wird, ermittelt wird  
und eine Stückliste, die das Zwischenprodukt (Z) und das Vorprodukt (V) umfaßt, verwendet wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,  
d a d u r c h     g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß

- die mehreren Zeitpunkte für die Soll-Lieferkurve (110, 200) mehrere aufeinander folgende Tage aus einem festgelegten ersten Zeitraum sind,
- die mehreren Zeitpunkte für die Bestandskurve (110, 200) mehrere aufeinander folgende Tage aus dem ersten oder einem festgelegten zweiten Zeitraum sind
- und beide Zeiträume jeweils mindestens fünfmal so lang wie der maximale Zeitraum zwischen Auftreten und Beseitigung einer Lieferbeschränkung beim das Vorprodukt (V) herstellende Lieferglied (20.d1) sind.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,

d a d u r c h     g e k e n n z e i c h n e t ,

daß die vom Endabnehmer (30) jeweils benötigte Menge des Vorprodukts (V) ermittelt und in Form einer Endabnehmer-Bedarfskurve (1110) für das Vorprodukt (V) abgespeichert wird,

eine Ist-Vorlaufzeit (VLZ\_Ist) für das Vorprodukt ermittelt wird

und die Soll-Lieferkurve (110, 200) ermittelt wird, indem die Endabnehmer-Bedarfskurve (1110) um die Ist-Vorlaufzeit (VLZ\_Ist) entlang der Zeitachse verschoben wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7,

d a d u r c h     g e k e n n z e i c h n e t ,

daß die vom Endabnehmer (30) jeweils benötigte Menge eines Zwischenproduktes (Z), für dessen Herstellung das Vorprodukt (V) verwendet wird, ermittelt und in Form einer Endabnehmer-Bedarfskurve (1100) für das Zwischenprodukt (Z) abgespeichert wird,

mittels einer Stückliste ermittelt wird, wie viele Exemplare des Vorprodukts (V) für die Herstellung eines Exemplars des Zwischenprodukts (Z) benötigt werden,

und die Endabnehmer-Bedarfskurve (1110) für das Vorprodukt mit Hilfe der Endabnehmer-Bedarfskurve (1100) für das Zwischenprodukt (Z) und der Stückliste ermittelt wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

- das Vorprodukt in Losen gefertigt wird, die jeweils aus einem Vielfachen einer Basismenge bestehen,
- für jede mögliche Zeitspanne bei der Berechnung einer Simulations-Bestandskurve (130, 140, 150, 160) die Auswirkungen der Fertigung in Losen aus der Simulations-Bestandskurve herausgerechnet wird und dadurch eine bereinigte Simulations-Bestandskurve (230) berechnet wird
- und das Optimierungs-Kriterium ( $\sigma$ ) auf der bereinigte Simulations-Bestandskurve (230) basiert.

10. Verfahren nach Anspruch 9,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

daß beim herausrechnen der Auswirkungen der Fertigung in Losen

durch Analyse der Simulations-Bestandskurve (130, 140, 150, 160) diejenigen Zeitpunkte (LFZ[1], LFZ[2], ...), zu denen ein Los fertiggestellt wurde, bestimmt werden

und für einen Zeitpunkt zwischen zwei Los-Fertigstellungs-Zeitpunkten (LFZ[1], LFZ[2], ...) vom Wert der Simulations-Bestandskurve (220) die Werte der Soll-Lieferkurve (110,200) für alle nachfolgenden Zeitpunkte bis zum letzten Zeitpunkt vor dem nächsten Los-Fertigstellungs-Zeitpunkt subtrahiert werden.

11. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10

mit einer Einrichtung zur Ermittlung und Abspeicherung der Soll-Lieferkurve (110, 200),

dadurch gekennzeichnet,

daß die Vorrichtung

- eine Einrichtung zur Ermittlung und Abspeicherung der Bestandskurve (100),
- eine Einrichtung zur Bestimmung von Simulations-Bestandskurven (130, 130.1, 140, 150, 160) für verschiedene mögliche Zeitspannen ( $\Delta VLZ$ ),
- und eine Einrichtung zur Bestimmung der Korrektur-Zeitspanne ( $\Delta VLZ_{opt}$ ) durch Auswahl der gemäß eines auf den Simulations-Bestandskurven (130, 130.1, 140, 150, 160) basierenden Optimierungs-Kriteriums ( $\sigma$ ) optimalen Zeitspanne ( $\Delta VLZ_{opt}$ ) aus der Menge von möglichen Zeitspannen ( $\Delta VLZ$ )

umfaßt.

12. Computerprogramm-Produkt, das direkt in den internen Speicher eines Computers geladen werden kann und Softwareabschnitte umfaßt, mit denen ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10 ausgeführt werden kann, wenn das Produkt auf einem Computer läuft.

13. Computerprogramm-Produkt, das auf einem von einem Computer lesbaren Medium gespeichert ist und das von einem Computer lesbare Programm-Mittel aufweist, die den Computer veranlassen, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10 auszuführen.



1/11

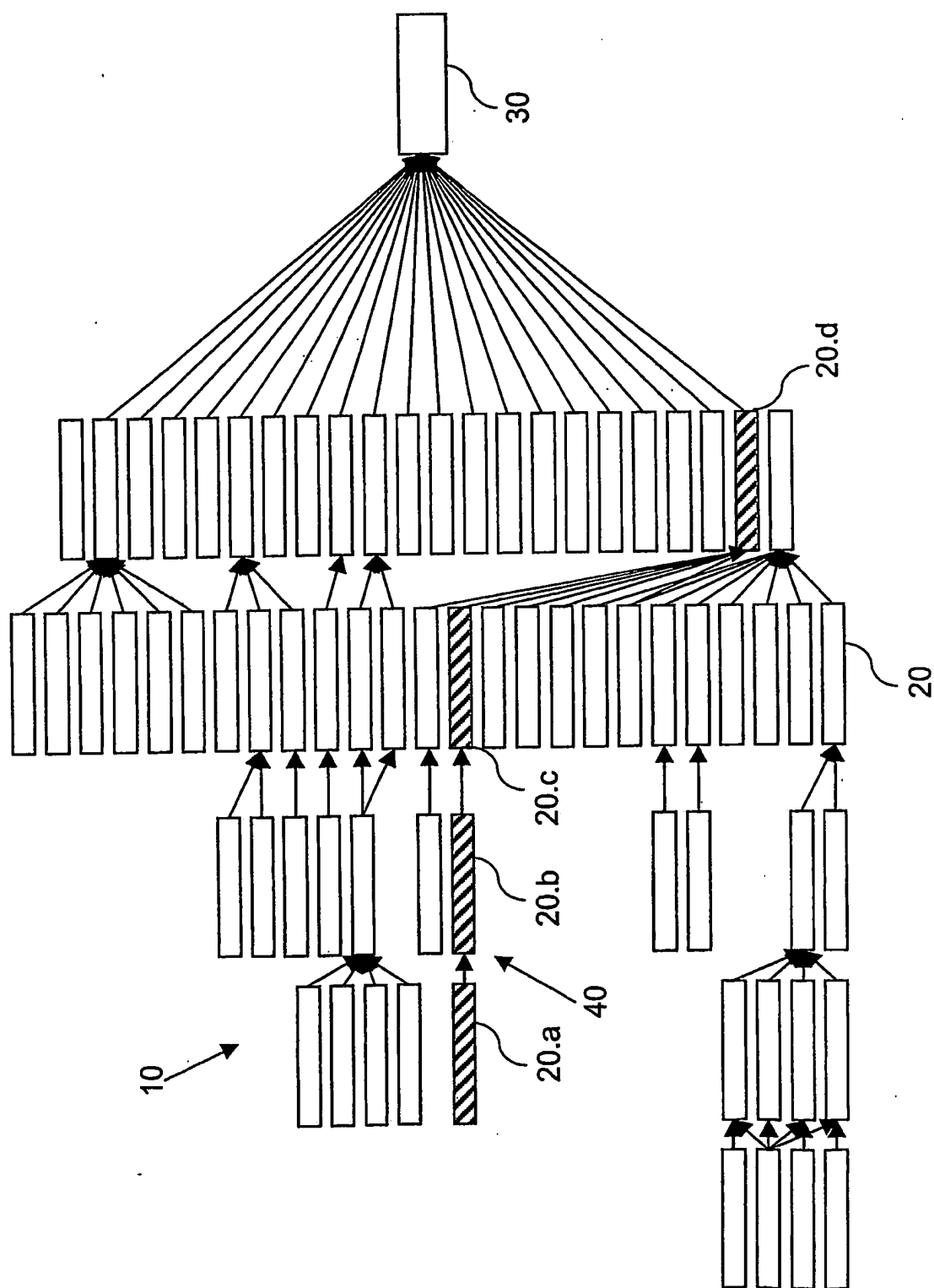


Fig. 1

2/11

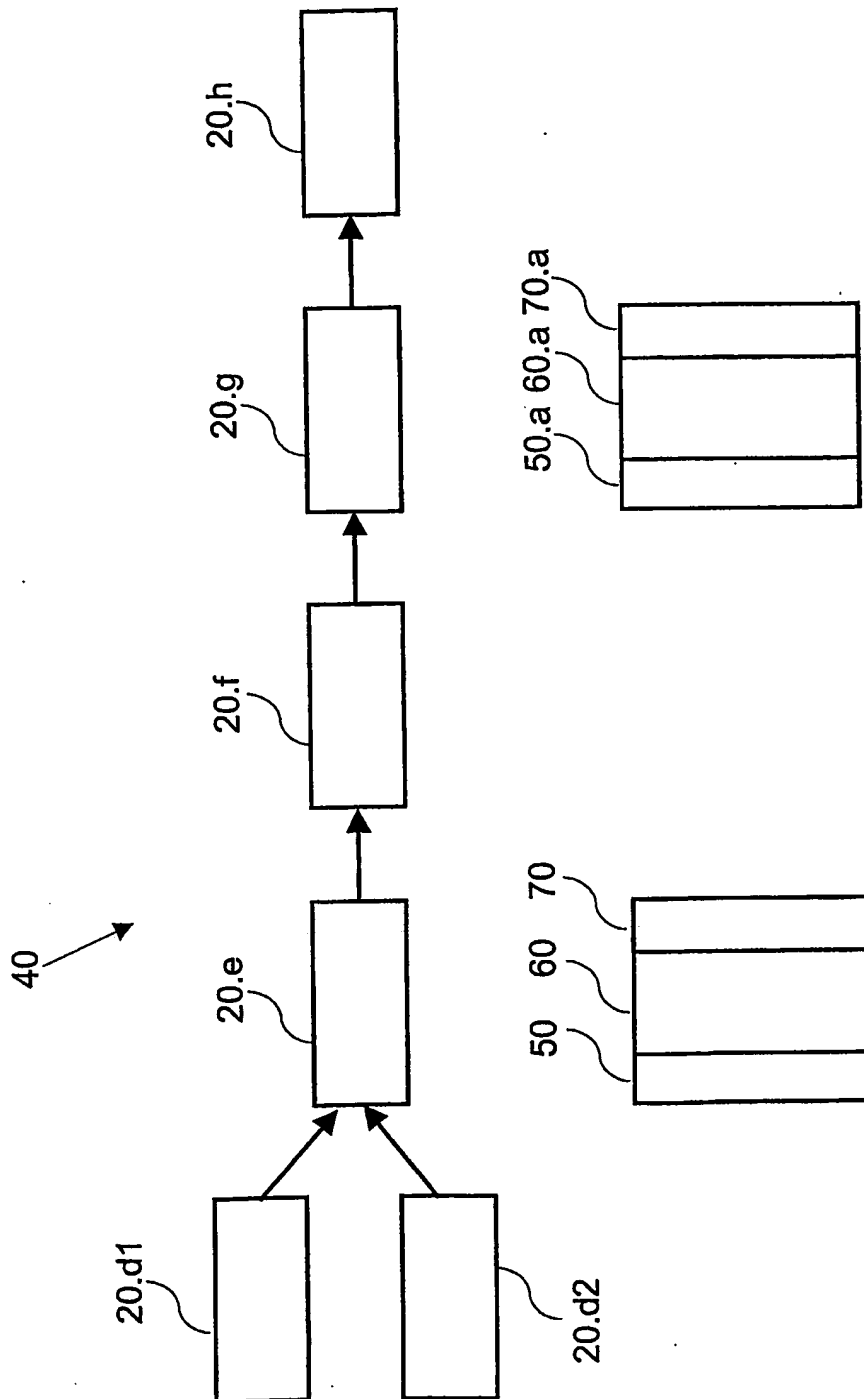


Fig. 2

3/11

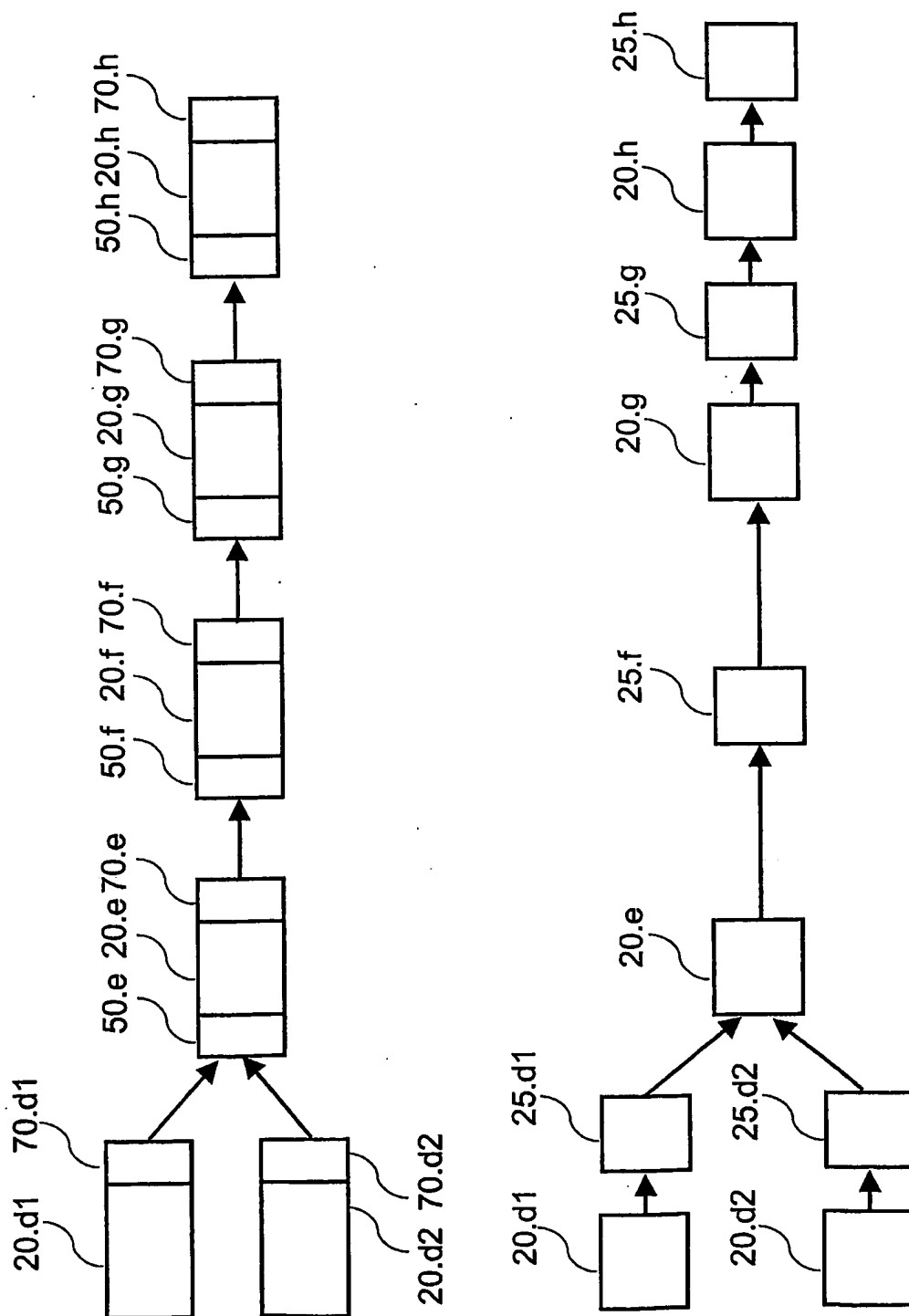
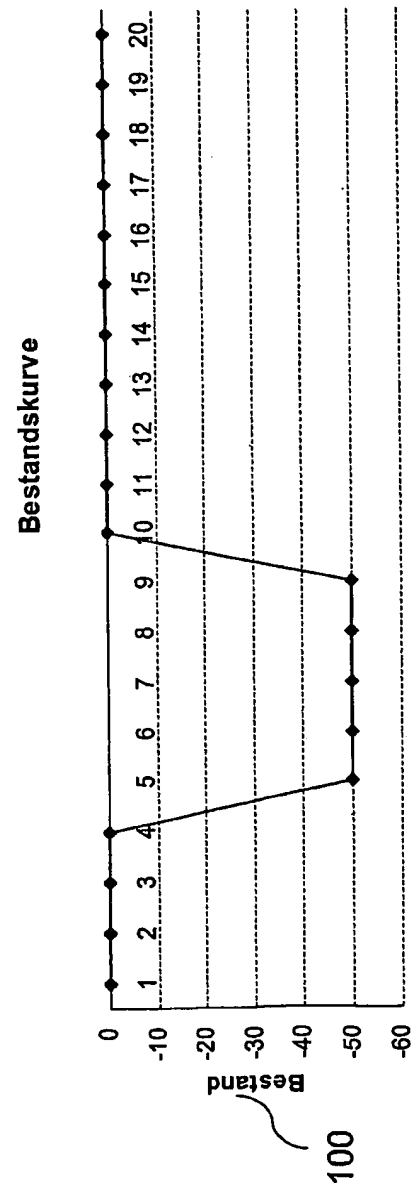


Fig. 3



Endabnehmer-Bedarfskurve für Zwischenprodukt

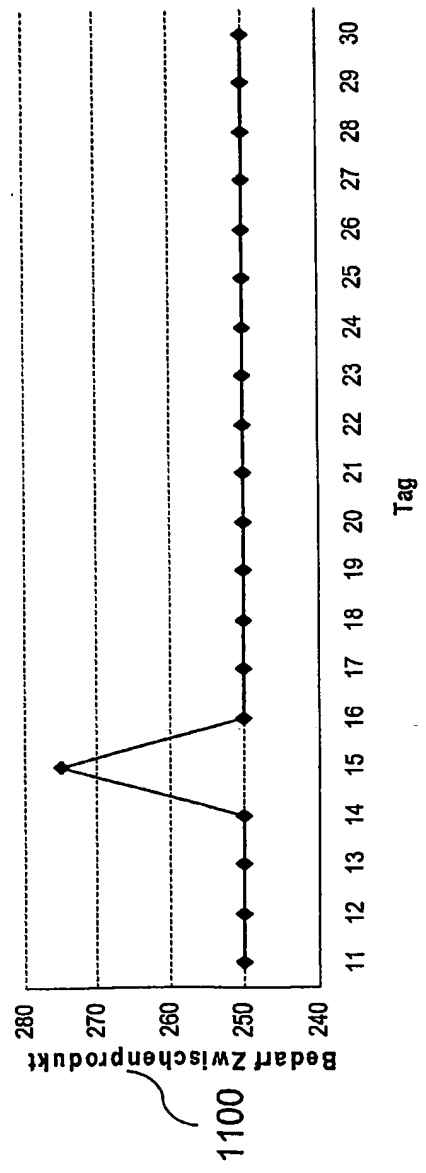
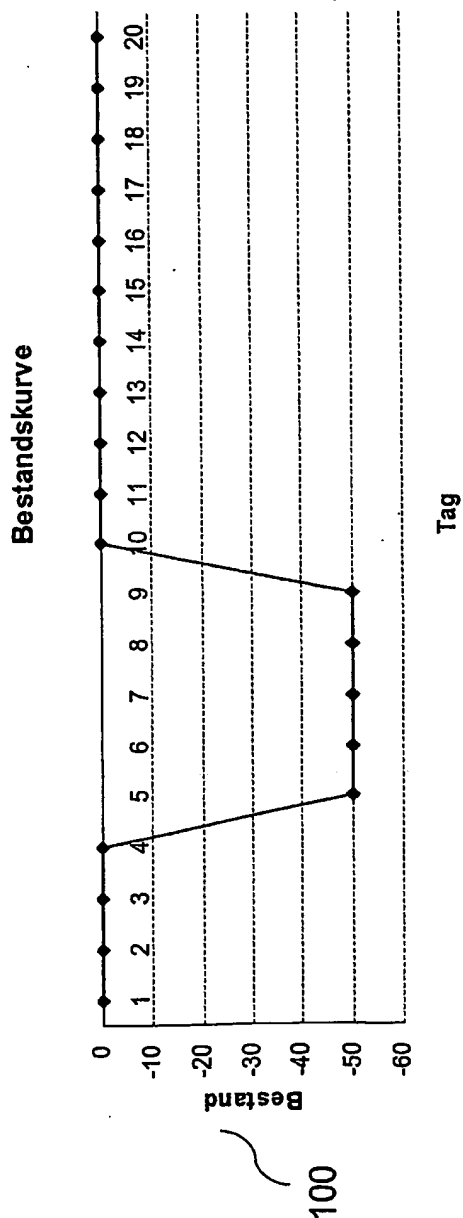


Fig. 4

5/11



Endabnehmer-Bedarfskurve für Vorprodukt

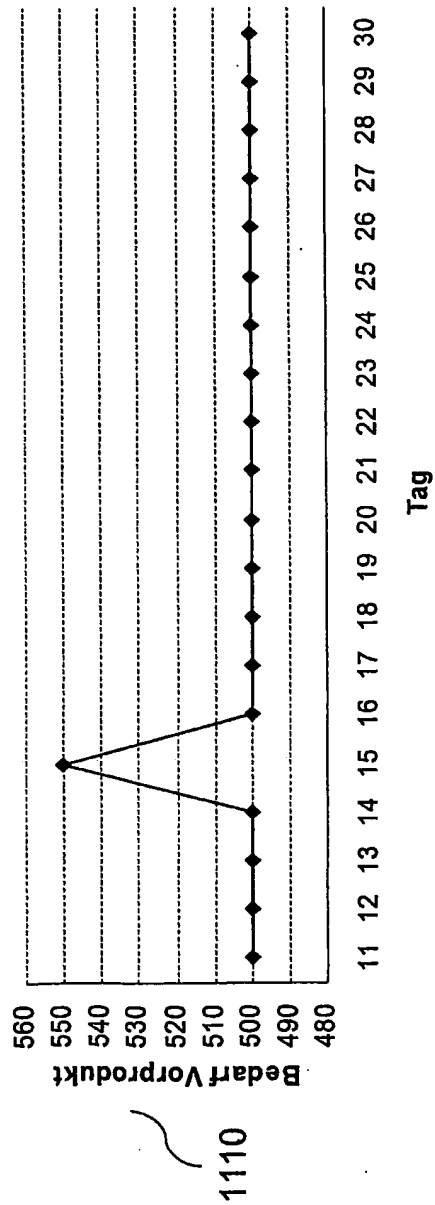
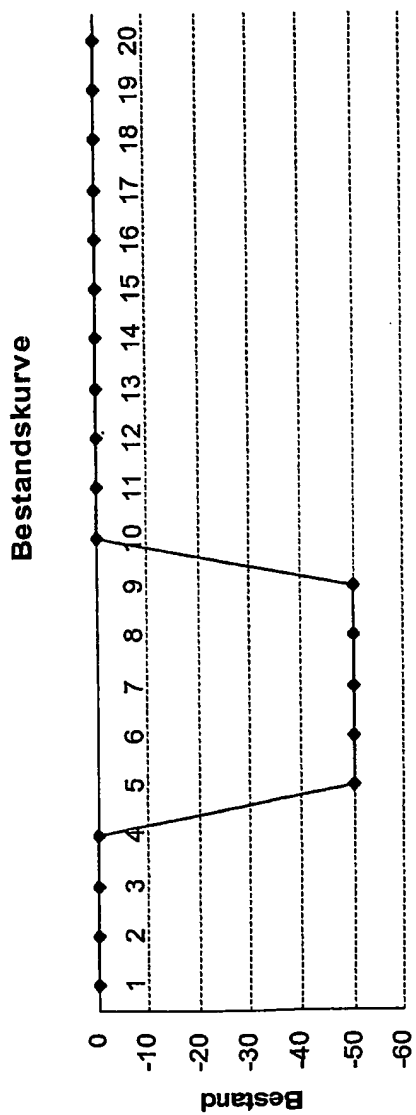


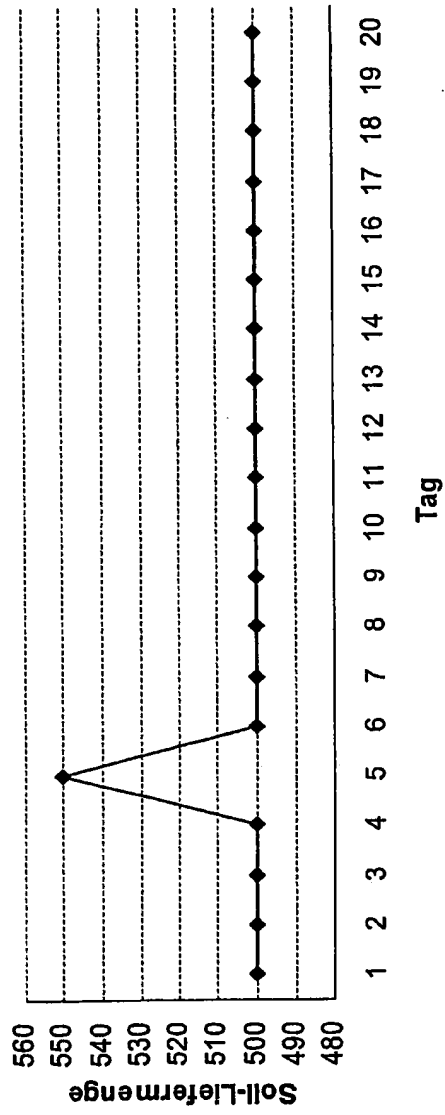
Fig. 5

6/11



Tag

**Soll-Lieferkurve**

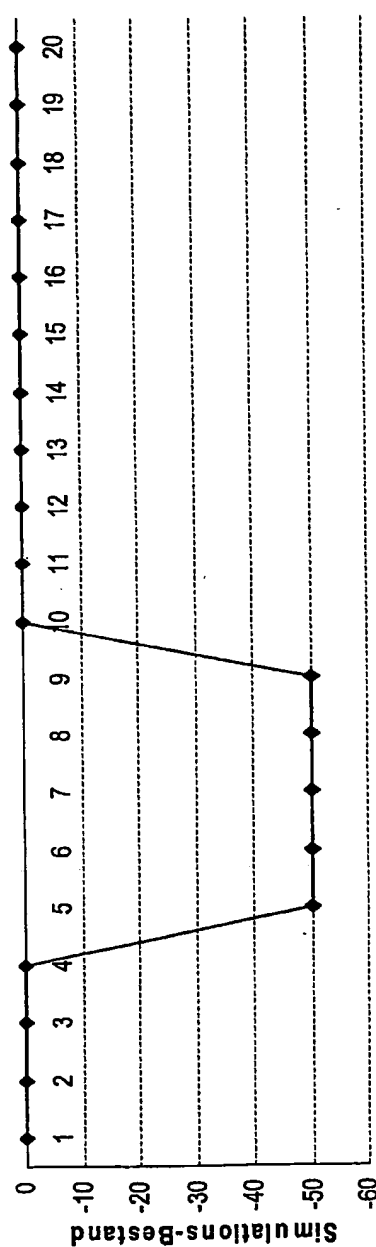


Tag

Fig. 6

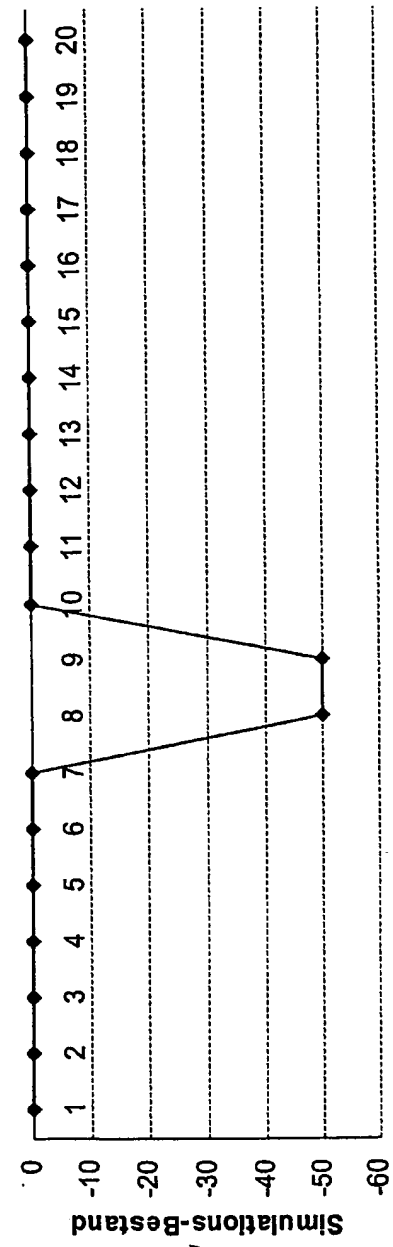
7/11

Simulations-Bestandskurve, Delta\_VLZ = 0 Tage, Bedarf\_Std = 500



130

Simulations-Bestandskurve, Delta\_VLZ = 3 Tage, Bedarf\_Std = 500

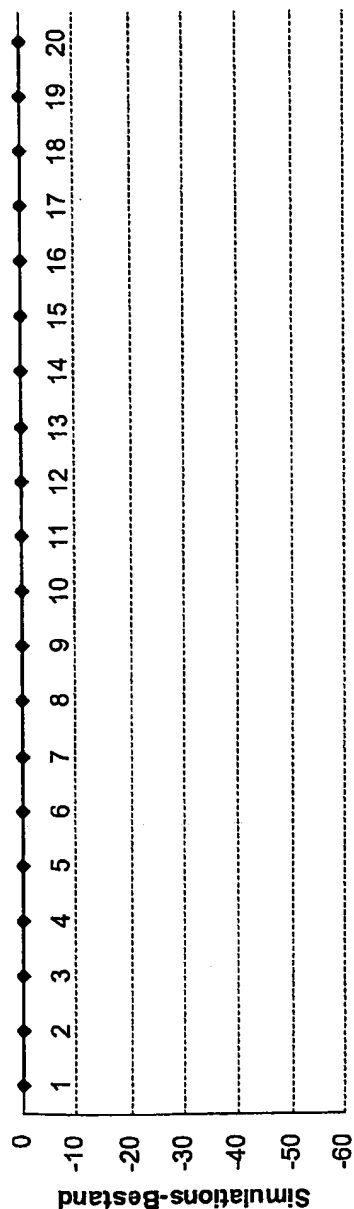


140

Fig. 7

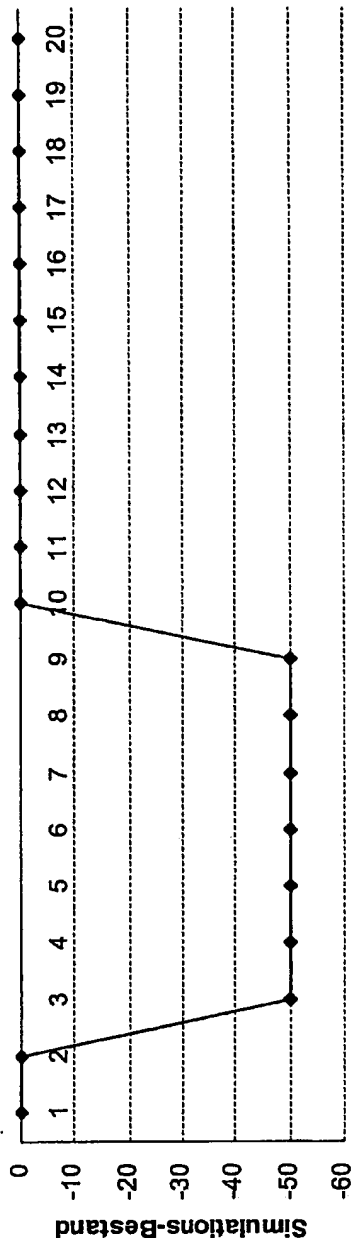
8/11

Simulations-Bestandskurve, Delta\_VLZ = 5 Tage, Bedarf\_Std = 500



150

Simulations-Bestandskurve, Delta\_VLZ = -2 Tage, Bedarf\_Std = 500



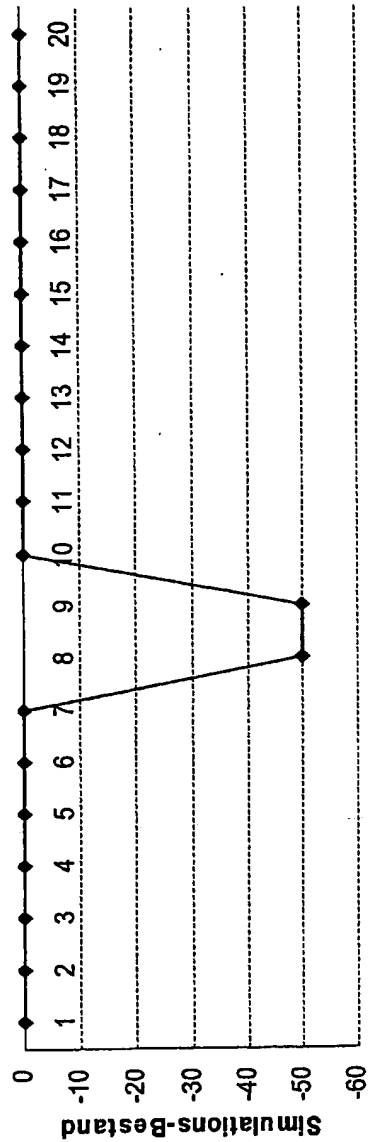
160

Fig. 8



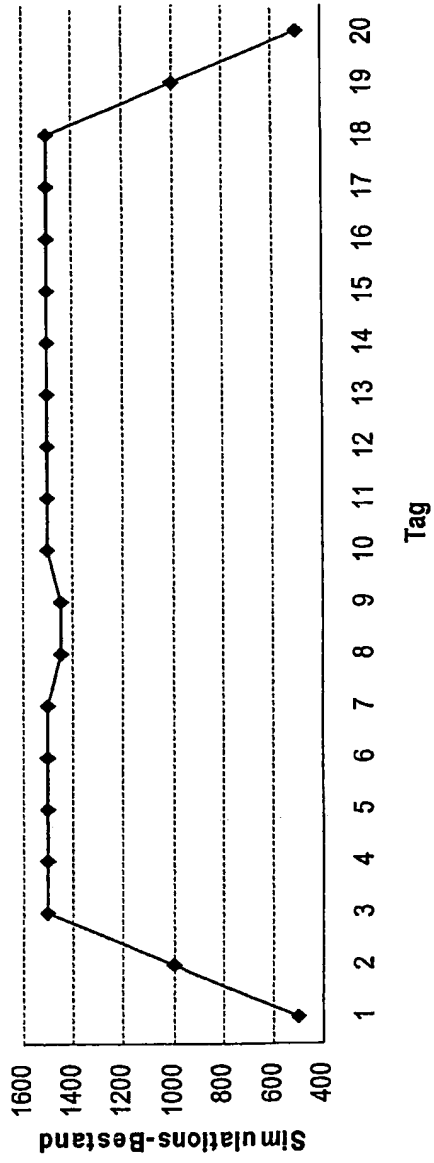
9/11

Simulations-Bestandskurve, Delta\_VLZ = 3 Tage, Bedarf\_Std = 500



130

Simulations-Bestandskurve, Delta\_VLZ = 3 Tage, Bedarf\_Std = 0

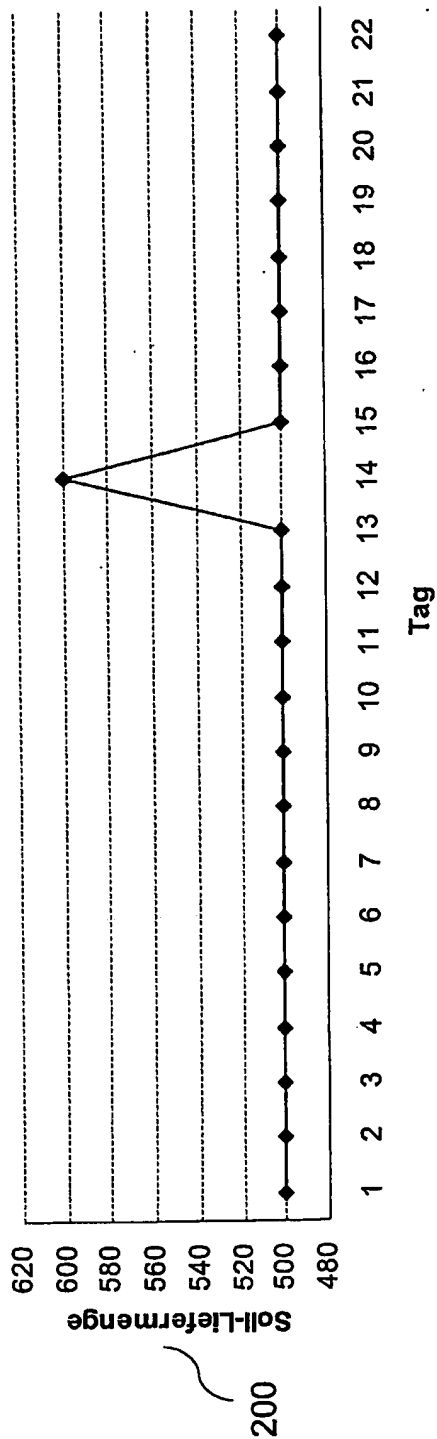


130.1

Fig. 9

10/11

Soll-Lieferkurve



Bestandskurve, Losfertigung

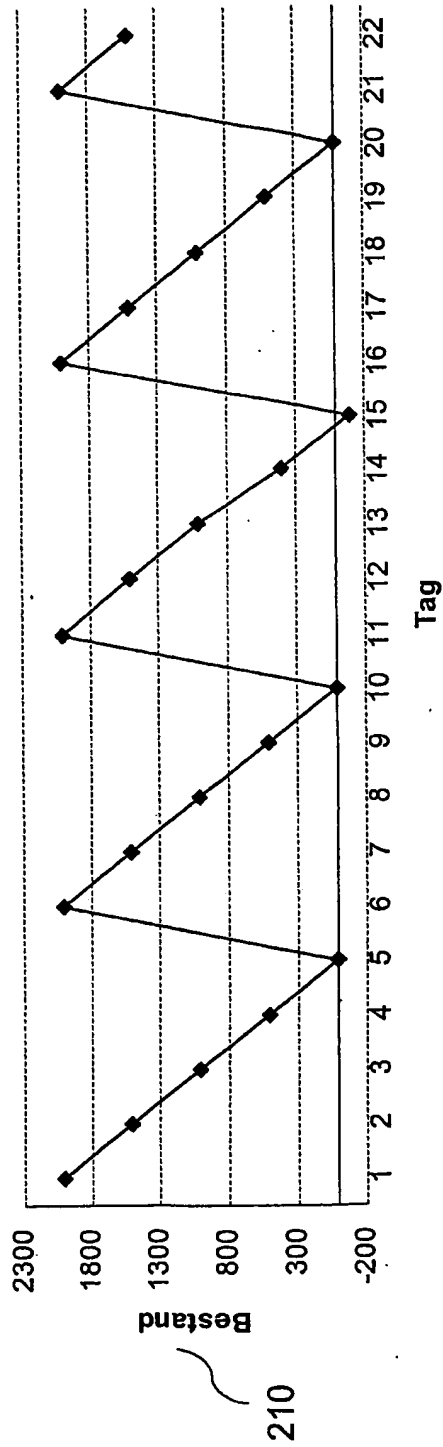
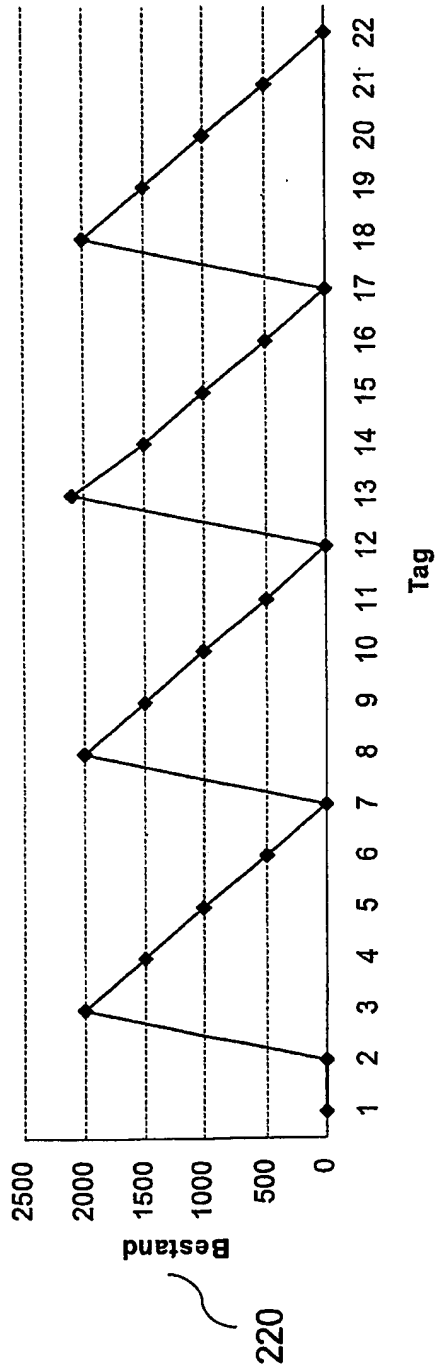


Fig. 10

Simulations-Bestandskurve, Losfertigung- Delta\_VLZ = -3 Tage



bereinigte Simulations-Bestandskurve, Losfertigung- Delta\_VLZ = -3 Tage

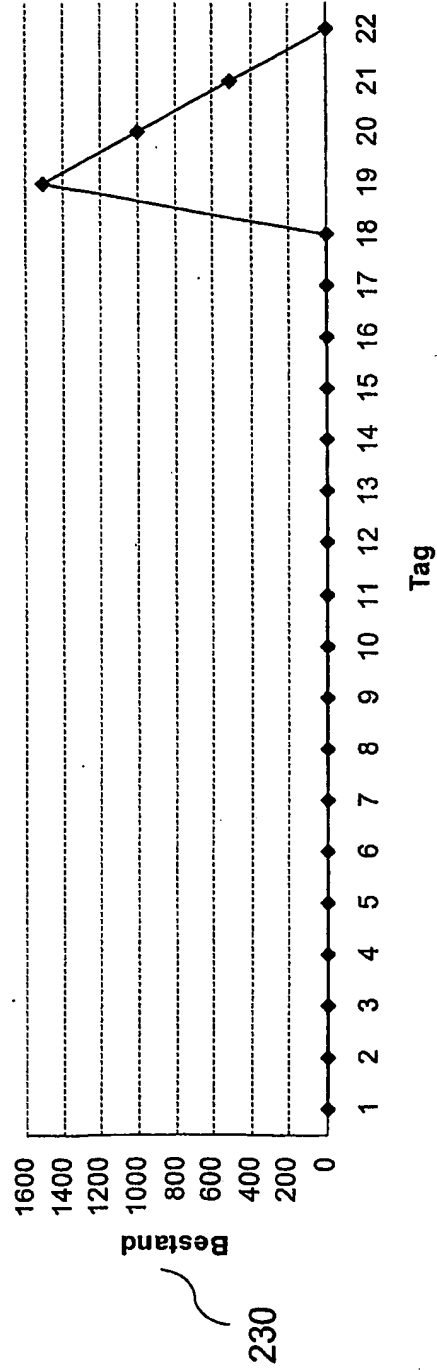


Fig. 11